

**Makale  
(Article)**

## **Elektro-Erozyon İle İşlemede İşleme Haznesine Uygulanan Titreşimlerin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi**

**Ali Özgedik\*, Can Çoğun\*\***

\*Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 19030, Çorum

\*\*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara

[aliozgedik@hitit.edu.tr](mailto:aliozgedik@hitit.edu.tr)

Geliş Tarihi: 04.07.2011 Kabul Tarihi: 02.10.2011

### **Özet**

Bu çalışmada, elektro-erozyon ile işlemede (EEİ), işleme koşullarında işleme haznesine uygulanan titreşimlerin performans çıktıları (işparçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, bağıl aşınma ve işparçası yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, performans çıktılarını doğrudan etkileyen vurum süresi ve boşalım akımı gibi işleme parametrelerinin değişik değerlerinde işleme ortamına çeşitli frekanslarda mekanik titreşimler uygulanarak deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar işleme parametrelerinin ve işleme ortamına değişik frekanslarda uygulanan titreşimlerin performans çıktıları üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektro-erozyon ile işleme, işleme haznesi titreşimi, işleme performansı

## **An Investigation on the Effect of the Applied Machining Tank Vibrations on the Machining Performance in Electrical Discharge Machining**

### **ABSTRACT**

In this study, the effects of applied machining tank vibrations on the machining performance outputs (workpiece removal rate, tool electrode wear rate, relative wear and workpiece surface roughness) have been investigated for various machining conditions in electrical discharge machining. In this aspect, the machining experiments have been conducted with applied vibration in terms of varying frequency corresponding to varying machining parameters (such as discharge current and pulse duration) which directly affect the machining performance outputs. Experimental results have shown that machining parameters and applied machining tank vibrations at various frequencies were effective on machining performance outputs.

**Keywords:** Electrical discharge machining, machining tank vibration, machining performance

## **1. GİRİŞ**

Elektro-Erozyon İle İşleme (EEİ), dielektrik sıvı içerisinde elektrot ile işparçası arasında oluşan elektriksel boşalımın işparçası yüzeyinden çok küçük bir hacmi aşındırması esasına dayanır. EEİ sıklıkla, çok sert, kırılğan, yüksek mukavemetli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelere uygulanmaktadır. Mevcut yöntemlerle işlenmesi çok zor olan metallerin bu yöntemle işlenmesi zaman ve maliyet açısından

*Bu makaleye atıf yapmak için*

*Özgedik A., Çoğun C., "Elektro-Erozyon İle İşlemede İşleme Haznesine Uygulanan Titreşimlerin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2011, 8(3) 13-25*

*How to cite this article*

*Özgedik A., Çoğun C., " An Investigation on the Effect of the Applied Machining Tank Vibrations on the Machining Performance in Electrical Discharge Machining "*

*Electronic Journal of Machine Technologies, 2011, 8(3) 13-25*

büyük kazançlar sağlamaktadır [1]. Günümüzde EEİ yöntemi ile üretilen pres kalıpları, enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, civata başı dövme kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları bu yöntemin kullanıldığı genel örneklerdendir [2]. Bunların yanı sıra 30-50 µm çapındaki döner elektrotla deliklerin işlenmesi [3], dielektrik sıvı içerisine karıştırılmış metal tozları ile yüzey bitirme işlemleri [4], kompozit elektrotla yüzey modifikasyonu [5] ve çevresel işleme [6] gibi EEİ yönteminin kullanım alanını genişletmek için yapılmış çalışmalar mevcuttur.

EEİ'de talaş kaldırma, işparçası malzemesinin ergimesi ve buharlaşması ile gerçekleşmektedir [7]. İşleme esnasında işparçasından talaş kaldırılırken aynı zamanda elektrodun da aşındığı gözlenmektedir [8, 9]. Dielektrik sıvı uygulama şeklinin ve hızının yeterli olmaması halinde işleme aralığında işleme atıklarının meydana getirdiği aşırı bölgesel kirlenme nedeniyle işparçası ile elektrot arasında kısa devre ve ark tipi durumların oluşumunun arttığı belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak işparçası işleme hızında (İİH) düşüş, elektrot aşınma hızında (EAH), bağlı aşınmada (BA) ve işparçası yüzey pürüzlülüğünde (Ra) artış ve tolerans dışı boyutlar elde edilir [9, 10, 11]. Dielektrik sıvı uygulamasının başarısı dielektrik sıvı uygulama şekline, hızına ve iki boşalım arasındaki bekleme süresine bağlıdır. Süre ne kadar kısa seçilirse kısa devre oluşumu da aynı oranda artar [12].

EEİ tekniği ile ilgili olarak bu güne kadar geçen süreç içerisinde elektrot ve işparçası malzemelerinin işleme performansı üzerindeki etkisinin teorik ve deneysel olarak incelendiği [13, 14, 15, 16], işleme parametrelerinin performans çıktıları üzerindeki etkilerinin incelendiği [17, 18, 19], farklı dielektrik sıvı ve uygulama yöntemlerinin kullanıldığı [7, 11, 20, 21] çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların yanı sıra EEİ ile işlemenin performans çıktılarını iyileştirmek amacıyla ile tezgah-işparçası-elektrot üzerinde yapılmış modifikasyonlar ile ilgili literatürde birçok araştırma olduğu tespit edilmiştir. Elektrodun dönme hareketinin uygulandığı [22], içinden oksijen püskürtmesi yapılan boru tipi döner bakır elektrodun kullanıldığı [23], dielektrik (gazyağı) içerisine karıştırılmış farklı toz malzemelerin farklı konsantrasyon değerleri için işleme deneylerinin yapıldığı [24, 25], hızlı prototip tekniği ile üretilmiş modellerin elektroliz ile bakır kaplanması ile elde edilen ince kabuk şeklindeki elektrotların performans çıktılarının incelendiği [26, 27] birçok benzer çalışma tespit edilmiştir.

Son yıllarda işlenmesi çok zor malzemelerdeki mikro deliklerin işlenmesi ve minyatür parça üretimi ile ilgili endüstrideki yoğun talep mikro üretim tekniklerine karşı büyüyen bir ilgi uyandırmıştır. Bunun neticesinde Mikro Ultrasonik İşleme (MUSM), Mikro Mekanik Delme (MMD), Lazer ile İşleme (LBM), Mikro Punching (MP) ve Mikro EEİ (MEEİ) gibi değişik teknikler geliştirilmiştir [3, 28, 29]. MEEİ'de dielektrik sirkülasyonu ve işleme atıklarının uzaklaştırılması çok zordur. Klasik EEİ ve MEEİ işleme tekniklerinin ortak sorunu olan dielektrik sıvı sirkülasyonu ve buna bağlı diğer problemlerin aşılabilmesi için ultrasonik işleme tekniğindeki takım titreşimlerinin EEİ işlemindeki elektroda uygulandığı çalışmalar bu soruna çözüm aramak için yapılan çalışmalardandır [30, 31, 32, 33]. Ultrasonik titreşimli, döner ve iki durumun birlikte kullanıldığı elektrotlar ile yapılan işleme koşullarında yüksek frekans ve yüksek genlik değerine sahip titreşimlerin yüksek işleme hızı değerleri sağladığı tespit edilmiştir [34]. Boru tipi elektrot içerisinden yüksek hızda gaz üflenen ince cidarlı bakır elektrot ile çelik işparçasına uygulanan ultrasonik titreşimlerin kombinasyonunun oluşturduğu ultrasonik işparçası titreşimli EEİ (UİT-EEİ) işleme mekanizması ile yapılan deneylerde titreşim genliğindeki artışın ergimiş işparçası malzemesinin yüzeye yapışmaksızın uzaklaştırılabilmesini kolaylaştırdığı ve buna bağlı olarak işleme hızı değerini arttırdığı bildirilmiştir. [35]. İşparçasına uygulanan ultrasonik titreşimler ile oluşan ultrasonik dalgaların hareketi ile kavitasyon ve akustik akıntı gibi önemli etkilerin MEEİ işleminde uygulanabilirliğinin incelendiği çalışmada MEEİ işleminin ultrasonik titreşimler ile daha kararlı hale geldiği bildirilmiştir [36]. 20 kHz frekans ve 8 µm genlik değerine sahip titreşimlerin işparçasına uygulanması (UİT-MEEİ) ile ilgili deneylerde titreşim frekansındaki artışa karşılık gelen tüm genlik değerlerinde işleme süresinin azaldığı gözlenmiştir [37]. Üç boyutlu mikro deliklerin işleme performansını arttırmak için işparçasına uygulanan farklı frekanstaki titreşimler ile yapılan deneyler neticesinde artan titreşim genliği ve frekansı ile işleme derinliğinin arttığı ve frekansın işlemede en önemli parametre olduğu belirtilmiştir [38]. Ultrasonik titreşimlerin işparçasına uygulandığı başka bir çalışmada işleme parametrelerine bağlı olarak UİT-MEEİ

ile elde edilen işleme hızı değerlerinin MEEİ ile elde edilen değerlerin 4 ile 8 katı olduğu tespit edilmiştir [39]. EEİ ile işlenmiş silindirik deliklerde oluşan konikliği ve ikincil boşalıkları azaltmak amacı ile sadece işleme tankına uygulanan ultrasonik titreşimlerin yanı sıra işleme sırasında deliğin çıkış noktasına yakın derinliklerde kapasitans değeri değiştirilerek deneyler yapılmış ve ultrasonik frekanstaki titreşimlerin uygulanması ile her koşulda konikliğin azaldığı tespit edilmiştir [29]. İşparçasına 22 kHz frekans ve 3 µm genlikte ultrasonik titreşim uygulandığı deneysel çalışmada ultrasonik titreşimin aktif vurumların kıvılcım oluşumu verimini ve ortalama vurum enerjisini iyileştirmek yoluyla aktif olmayan vurumları önemli derecede azalttığı gözlemlenmiştir [40]. 200 µm çaptaki tungsten elektrot ile işlenen işparçasına uygulanan ultrasonik titreşimler neticesinde oluşan kaviteasyonun işlemede önemli bir etki olduğu, işleme ortamının titreşim etkisi ile pompalanması sonucu daha iyi sirküle edilmesinin ark oluşumlarını azalttığı ve MEEİ performansını arttırdığı belirtilmiştir [41].

Literatür araştırması bütün çalışmaların işleme performans çıktılarının (işparçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, bağıl aşınma ve işparçası yüzey pürüzlülüğü) iyileştirilmesini hedeflediğini göstermektedir. EEİ'de, işlemin kararlılığının ve performans çıktılarının işleme boşluğundaki işleme atıklarının ortamdaki uzaklaştırılması ile doğrudan ilişkili olduğu literatür araştırmasından çıkan diğer bir sonuçtur. EEİ tekniğindeki bahsedilen problemleri en aza indirmek ve işleme performansını arttırabilmek amacı ile işleme parametreleri ile ilgili yapılmış olan bilimsel çalışmaların yanı sıra elektrodun döndürülmesi, elektrodun, işparçasının ve dielektrik ortamın ultrasonik frekanslarda titreştirilmesi gibi hareket uygulamaları işleme performans çıktıları üzerinde olumlu etkiler sağlamıştır.

Ancak, bahsedilen bu olumlu gelişmelerin hemen hepsinin ya mikro EEİ (MEEİ) tekniğinde ya da silindirik deliklerin klasik EEİ tekniği ile işleminde uygulanan sınırlı çalışmalar olduğu anlaşılmıştır. Kalıp üretiminde yaygın olarak tercih edilen dalma EEİ tekniği göz önüne alındığında kullanılan karmaşık şekilli elektrotlar ile yapılan işlemlerde bu uygulamaların ve sonuçların ne ölçüde geçerli olabileceği bilinmemektedir. Bunun yanı sıra elektrot titreşiminin uygulanabilirliğinin elektrot tasarımının transduser ve takım konisine bağlı olarak yapılması gibi bir zorunluluğu da beraberinde getirmesi nedeniyle bu sistemlerin pratik uygulanabilirliği sınırlıdır. Elektroda uygulanan titreşimler yerine işparçasına titreşim uygulamanın en büyük avantajı ise; transduser, transduser konisi ve takım konisi içermeyen sistemin daha serbest takım tasarımına müsaade etmesidir. İşparçasına uygulanacak titreşimler ile ilgili yapılacak çalışmaların işleme performansının arttırılması yönünde faydalı olacağı yapılan ön araştırmalardan anlaşılmaktadır. İşparçası titreşiminin EEİ performans çıktıları üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çok az sayıda ve sınırlı parametreler ile yapılmış olan deneysel çalışmalar bütünlük taşımaktan oldukça uzaktadır.

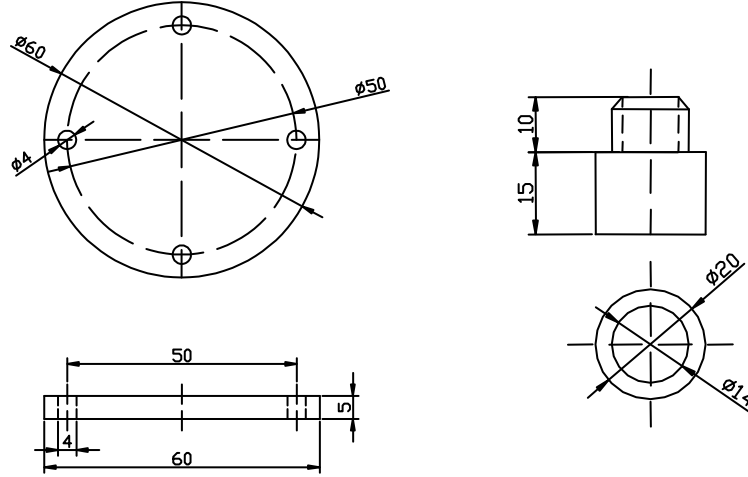
Bu çalışmada, her bir boşalım sonrası işparçası ve elektrot malzemelerinden aşınarak işleme ortamına karışan partiküllerin işleme haznesine ve buna bağlı olarak işparçasına uygulanacak titreşimler sayesinde daha etkin bir şekilde uzaklaştırılması ve her bir boşalım sonrası krater haznesinde bulunan ergimiş işparçası malzemesinin uygulanan titreşimler ile tekrar katılaşmadan krater dışına biraz daha fazla atılarak işleme hızının arttırılması doğrultusunda farklı frekanstaki titreşimler ve değişik işleme koşullarında deneyler yapılmıştır.

## 2. DENEYLER

Bu çalışmada, EEİ'de işleme performansını iyileştirmek için işparçasına mekanik titreşim uygulamak amacı ile İşleme Haznesi Titreşimli EEİ (İHT-EEİ) deney düzeneği tasarlanmış, imalatı gerçekleştirilmiş, farklı parametreler için deneyler yapılmıştır. Silindirik bakır elektrot, disk şeklinde işlenmiş çelik işparçası ve gazyağı dielektrik kullanılarak farklı frekans değerleri, boşalım akımları ve vurum sürelerinde yapılan işleme deneyleri neticesinde İİH, EAH, BA ve R<sub>a</sub> değerlerinin işleme parametreleri ile gösterdiği değişim incelenmiştir.

## 2.1. Deney Numuneleri

Deneylerde dielektrik sıvı olarak gaz yağı (kerosene) kullanılmıştır. İşparçası malzemesi olarak 1040 malzemeden silindirik 60 mm çapında, 5 mm kalınlığında kesilmiş ve 4 mm çapında bağlama delikleri delinmiş numuneler kullanılmıştır (şekil 1). Deneylerde 20 mm çapta, 25 mm boyda ve boy ölçüsünün 10 mm'lik kısmına bağlama kolaylığı için M14 diş açılmış 8,9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip silindirik elektrolitik bakır elektrotlar kullanılmıştır (şekil 1).



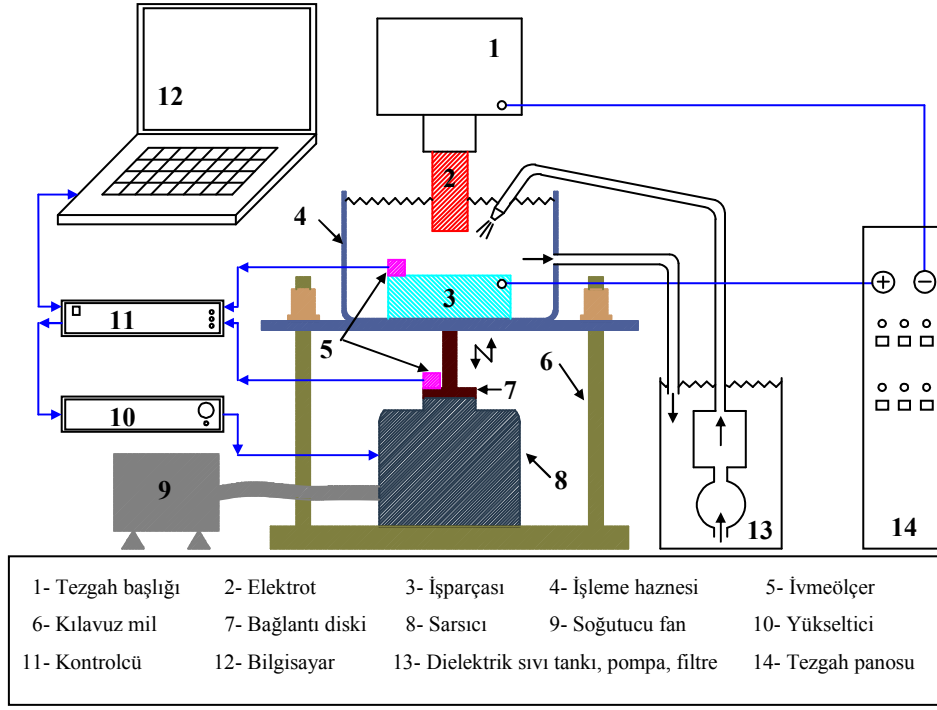
şekil 1. İşparçası ve elektrot lüleri

## 2.2. Elektro Erozyon Tezgağı ve Titreşim Sistemi

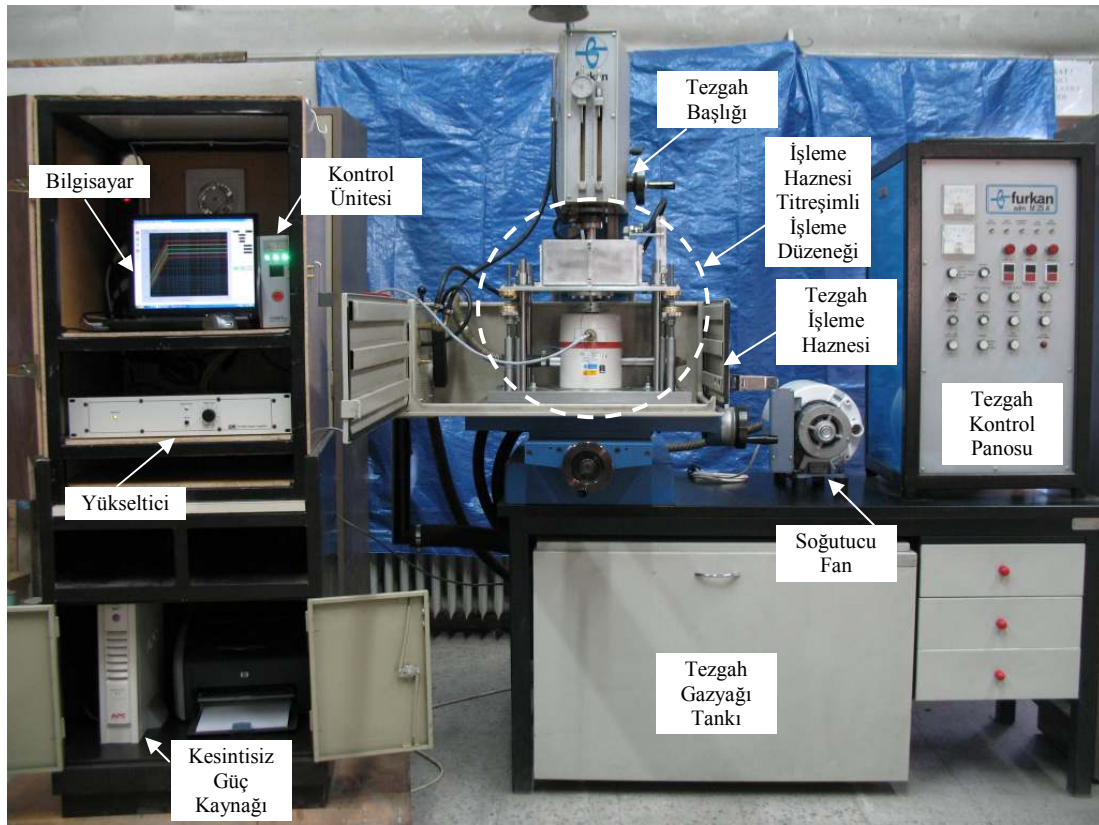
Deneyssel alışmalar, Furkan EDM M 25 A tipi elektro erozyon tezgağında gerçekleştirilmiştir. Uygulanacak titreşimlerin üretilmesi için Ling Dynamic Systems (LDS) firmasına ait 196 N'luk LDS V406/8 model sarsıcı, LDS PA 100E model yükseltici, LDS-Dactron marka COMET USB Shaker Control System, yazılım programı olarak ise LDS-Dactron Shaker Control System 6.1 programı kullanılmıştır. Deney düzeneğinde oluşturulmuş olan titreşim sinyalinin kontrolü ve izlenmesi amacı ile biri sarsıcı ünitenin armatr üzerine diğer işparçası bağlama aparatı üzerine sabitlenmiş PCB PIEZOTRONICS marka 352C22 model iki adet mini ivmeölçer kullanılmıştır.

## 2.3. Deney Düzeneği

Deneyssel çalışmalarda kullanılmış olan İHT-EEİ tekniği deney düzeneği şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Deney düzeneği, bir tablaya bağlı kılavuz miller üzerinde rulmanlı yataklar sayesinde işparçasının bağlı olduğu işleme haznesinin elektrot ilerleme eksenine ile aynı ekseninde titreşim üreten bir sarsıcının ürettiği titreşimler ile EEİ ile işleme sırasında titreştirilmesi esasına dayanır. Deney düzeneğinin bir parçası olan sarsıcı ünitenin uygulayabileceği kuvvetin sınırlı olması nedeni ile işleme sırasında işleme haznesinin üzerinde bulunan diğer parçaların ve hazne içerisindeki dielektrik sıvının ağırlıklarının sarsıcı üniteye yansıtılmaması amacı ile vidalı kılavuz miller üzerinde çalışan dört adet statik yük dengeleyici yay kullanılmıştır. Titreşimsiz deneyler sarsıcı ünite ile işleme haznesi arasındaki bağlantı üzülerek gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılmış olan İHT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğinin genel görünümü şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. İHT-EEİ tekniği şematik görünümü



Şekil 3. İHT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğinin genel görünümü

## 2.4. Deney Parametreleri

Deneylerde titreşim frekansı ( $f_v$ ), boşalım akımı ( $i_d$ ) ve vurum süresi ( $t_s$ ) değişen parametreler olarak kullanılmıştır. Kutuplama, bekleme süresi ( $t_p$ ), dielektrik sıvı cinsi, uygulama yöntemi ve pompa basıncı (P), işparçası ve elektrot malzemeleri, işparçası ve elektrot geometrileri ve işleme süresi ( $t_m$ ) bütün deneylerde sabit tutulmuştur. İHT-EEİ deneylerinde uygulanacak titreşim frekansının tespit edilmesinde sarsıcı ünitenin sistemin kütesine bağlı olarak uygulayabileceği değerler esas alınmıştır. Sarsıcı ünitenin seçilmiş olan sabit işleme süresine yakın bir değerden sonra sistemin kütesine bağlı olarak kararsız davranış göstermesi İHT-EEİ deneylerinde deney süresinin sabit seçilmesine neden olmuştur. Deneylerde kullanılmış olan işleme parametrelerine ait değerler Çizelge.1’de verilmiştir. Çizelge.2’de görülen 9 adet deney seti için üçer adet deney yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde yapılan üçer adet deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

**Çizelge 1. Deney parametreleri**

Deney Parametreleri	Değerler
Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ]	6, 12
Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ]	100, 200
Titreşim frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ]	0, 500, 1000
Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [ $\mu$ s ]	50
İşleme süresi ( $t_m$ ) [ dak. ]	30
Dielektrik sıvı	Gazyağı
Dielektrik sıvı pompa basıncı ( P ) [ bar ]	0,5
Kutuplama	Elektrot ( + ), İşparçası ( - )

**Çizelge 2. Deney seti tasarımı**

Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ]	Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ]	Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ]
6	100	0
6	100	500
6	100	1000
6	200	0
6	200	500
6	200	1000
12	200	0
12	200	500
12	200	1000

## 2.5. EEİ Performans Çıktılarının (İİH, EAH, $R_a$ ) Tespit Edilmesi

İşparçaları ve elektrotlar nihai ölçülerine getirildikten sonra işleme öncesi ve sonrası temizlenerek 0,001 gr hassasiyete sahip Precisa firmasına ait XB 320M model dijital terazi ile tartılmıştır. Aradaki hacimsel fark yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir işparçası ve elektrot için hacimsel fark işleme süresine bölünerek İİH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] ve EAH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] hesaplanmıştır.

İşparçasının işlenmiş yüzeylerine ait  $R_a$  değerleri Rank Taylor-Hobson marka Surtronic 3 + HB-103 tipi portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile üç farklı doğrultuda yapılmış toplam 12 adet ölçümün aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme uzunluğu ( $L_c$ ) 0,8 mm ve ölçüm uzunluğu ( $L_n$ ) 4 mm ( $5L_c$ ) olarak seçilmiştir.

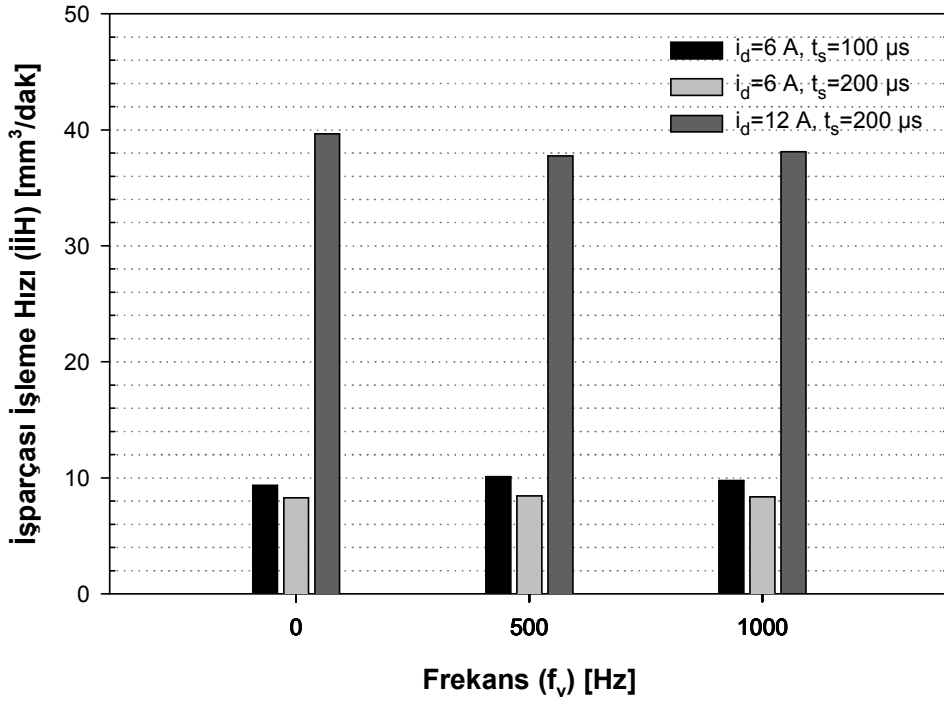
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İşleme haznesine uygulanan 500 Hz ve 1000 Hz (0,1~0,8  $\mu\text{m}$  maksimum genlik) titreşimler 6 A-100  $\mu\text{s}$  ve 6 A-200  $\mu\text{s}$  deneylerinde İİH'nin titreşimsiz koşullara göre artışına neden olurken 12 A-200  $\mu\text{s}$  parametrelerinde azalmaya neden olmuştur (Şekil 4). 500 Hz ve 1000 Hz frekansın uygulandığı deneylerde titreşimsiz koşullara göre İİH değerleri sırası ile 6 A-100  $\mu\text{s}$ 'de %7,85 ve %4,44, 6 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %2,15 ve %1 artış gösterirken 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %4,84 ve %3,92 azalma göstermiştir. Frekansın 500 Hz'den 1000 Hz'e artırılması ile İİH değerlerinde 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %1'lik bir artış sağlanmıştır. 6 A-100  $\mu\text{s}$  ve 200  $\mu\text{s}$ 'de frekansın artışı İİH değerlerinde bir önceki frekans değerine göre azalmaya sebep olmuştur. Bu durum düşük akım değerlerinde uygulanan düşük titreşim frekanslarının ve yüksek akım değerlerinde yüksek titreşim frekanslarının olumlu etki sağlayabileceğini göstermiştir. İHT deneylerinde uygulanan titreşimler İİH değerlerinde çok yüksek oranlarda olumlu etkiler sağlamasa da uygulanan titreşimlerin işlemenin daha kararlı olmasına yardımcı olduğu gözlenmiştir.

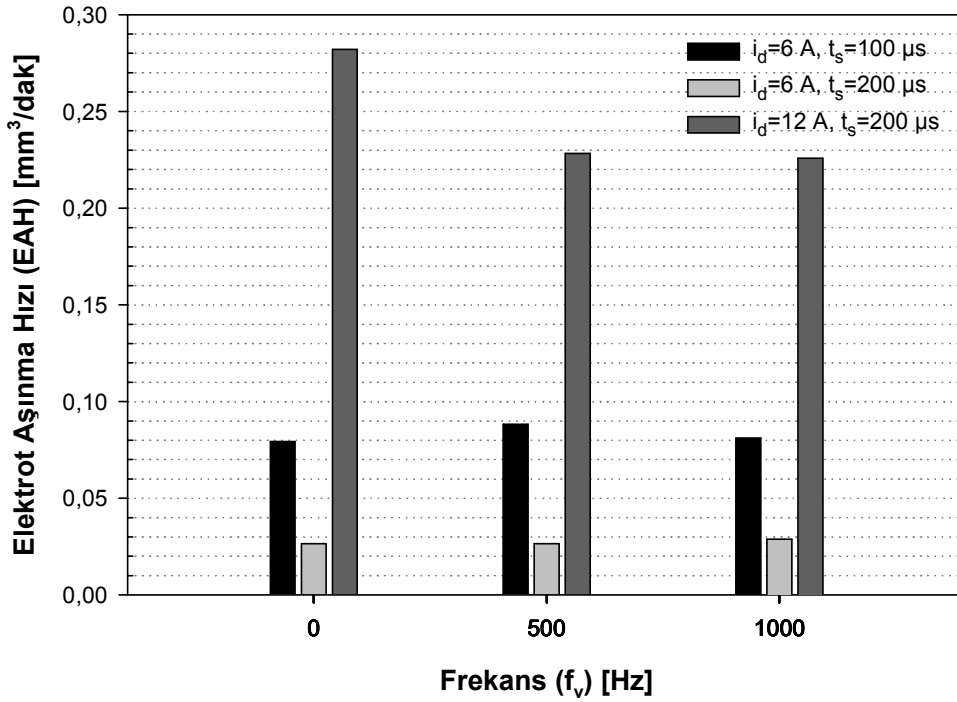
Titreşimin uygulanması ile 6A-100  $\mu\text{s}$  ve 200  $\mu\text{s}$ 'de titreşimsiz koşullara göre daha yüksek EAH değerlerinin (%2,27~%11,36 arasında) elde edildiği, 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de ise daha düşük (%19,12 ve %20) EAH elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 5). Frekansın 500 Hz'den 1000 Hz'e artırılması ile EAH değerlerinde 6 A-100  $\mu\text{s}$  işleme koşullarında %8,16 azalma, 6 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %9,09 artış elde edilirken 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %1 azalma tespit edilmiştir. 6 A boşalım akımının kullanıldığı deneylerde uygulanan titreşimler EAH değerlerini literatürdeki elektrot titreşimli çalışmalardaki gibi [33, 42] arttırmış olmasına rağmen 12 A'de EAH değerlerindeki azalma bu çalışmada elde edilen olumlu sonuçlardan biri olmuştur.

Titreşimin uygulandığı deneylerde BA değerleri titreşimsiz koşullara göre 12 A-200  $\mu\text{s}$  parametrelili 500 Hz ve 1000 Hz titreşim frekanslarında sırası ile %14,80 ve %16,81 azalmıştır (Şekil 6). 500 Hz frekansının uygulanması 6 A-100  $\mu\text{s}$  parametrelili BA değerlerinde %3,30 artışa sebep olurken 6 A-200  $\mu\text{s}$  deneylerinde %2,12 azalma sağlamıştır. Frekansın 1000 Hz ve işleme parametrelerinin 6 A-100  $\mu\text{s}$  olduğu deneylerde BA değerleri titreşimsiz koşullara göre %2,01 azalma gösterirken 6 A-200  $\mu\text{s}$  parametrelili deneylerde %7,82 artış sağlamıştır. Titreşimli 6 A-100  $\mu\text{s}$  ve 200  $\mu\text{s}$  deneylerinde titreşimsiz koşullara göre elde edilen BA değerlerindeki küçük değişimler 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de elde edilen BA değerlerindeki büyük azalmalar ile karşılaştırıldığında önemsizdir. Titreşim frekansının artırılması ile bir önceki frekans değerine göre BA değerindeki en olumlu değişim %5,14 oranındaki azalma ile 6 A-100  $\mu\text{s}$  parametrelili deneylerde elde edilmiştir.

6A-100  $\mu\text{s}$  ve 200  $\mu\text{s}$  parametrelili deneylerde titreşimsiz koşullara göre 500 Hz frekansta elde edilen  $R_a$  değerlerindeki yaklaşık %4 oranındaki artışa karşılık 1000 Hz frekans değerinde  $R_a$  değerlerinde neredeyse hiçbir değişim görülmemiştir (Şekil 7). 500 Hz ve 1000 Hz frekansının 12 A-200  $\mu\text{s}$  parametrelili deneylerde uygulanması ile  $R_a$  değerlerinde sırası ile %1,56 ve %1,96 azalma elde edilmiştir. Bu da uygulanan titreşimlerin yüksek akım değerlerinde daha olumlu etki sağlayacağını göstermiştir.

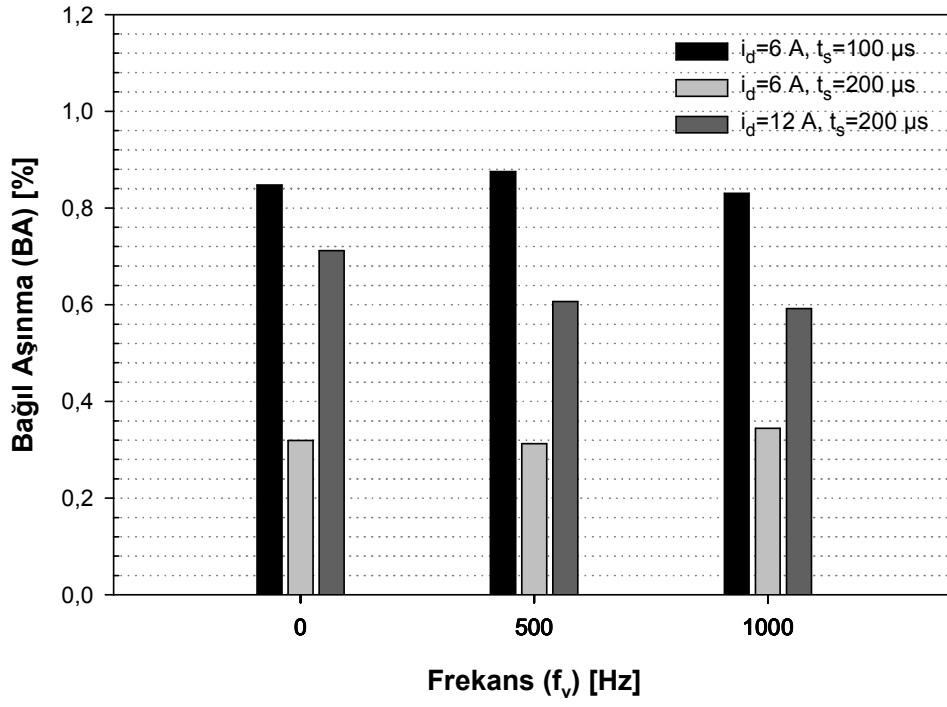


Şekil 4. Titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi

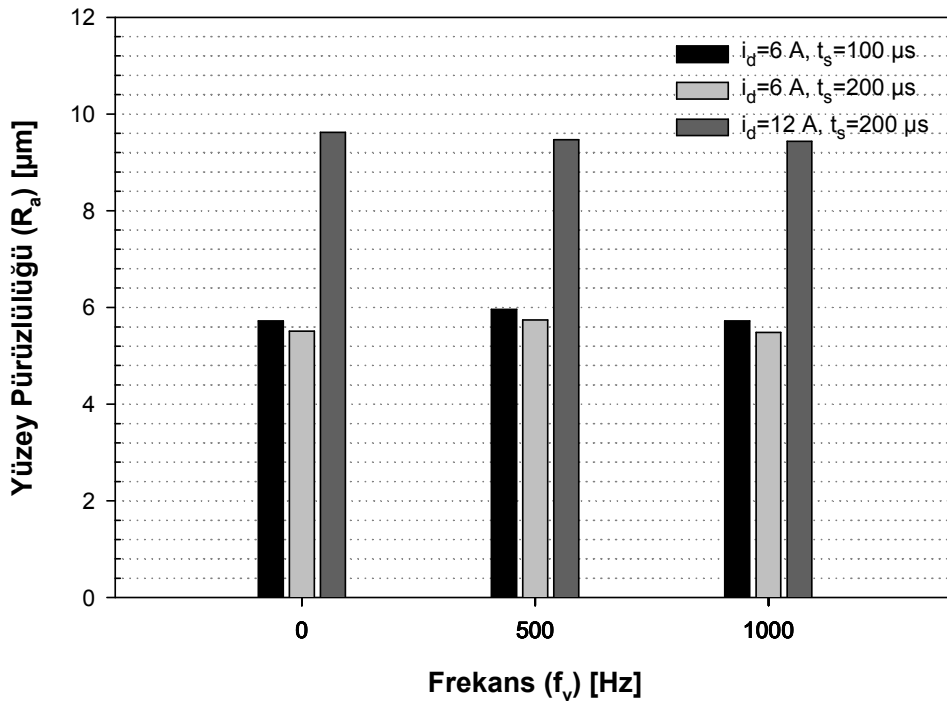


Şekil 5. Titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi





Şekil 6. Titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi

Şekil 7. Titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

İHT-EEİ'de yapılan deneylerde boşalım akımının artışı titreşimli ve titreşimsiz bütün koşullarda İİH, EAH, BA ve  $R_a$  değerlerinin artmasına neden olmuştur. Vurum süresinin artışı bütün deney koşullarında İİH değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Vurum süresindeki artış ile EAH değerlerinde önemli azalmalar elde edilmiştir. EAH değerlerindeki yüksek orandaki azalmaya karşılık İİH değerlerindeki düşük orandaki azalmaların neticesinde artan vurum süresi BA değerlerinde de azalmaya neden olmuştur. Vurum süresinin artışı ile  $R_a$  değerlerinde küçük de olsa bir azalma gözlenmiştir. Deneylerde işleme haznesine uygulanan 500 Hz ve 1000 Hz frekanstaki titreşimler düşük akımlı deneylerde İİH değerlerinin titreşimsiz koşullara göre artışına neden olurken yüksek akım değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Titreşim uygulaması titreşimsiz koşullara göre 6A deneylerinde daha yüksek, 12 A deneylerinde ise daha düşük EAH değerleri vermiştir. 12 A deneylerinde titreşimin uygulanması ile elde edilen EAH değerlerindeki azalma İHT-EEİ'de elde edilen diğer olumlu gelişmelerden birisi olmuştur. İşleme haznesine titreşimin uygulanması ile titreşimsiz koşullara göre 6 A deneylerinde BA değerlerindeki küçük artışlar 12 A'de elde edilen daha büyük azalma ile karşılaştırıldığında önemsizdir. 12 A deneylerinde  $R_a$  değerlerinde küçük azalmalar elde edilmiştir.

Bu çalışma sonrasında işleme haznesi aracılığı ile işparçasına uygulanan titreşimlerin özellikle EAH ve BA değerlerini belirgin bir şekilde azalttığı, İİH değerlerini küçük miktarlarda artırırken  $R_a$  değerlerini aynı şekilde azalttığı ortaya çıkmıştır. EEİ'de elektrot tasarımı ve üretiminin toplam işleme maliyetinin büyük bir kısmını oluşturduğu düşünüldüğünde EAH değerlerinin azalmasını sağlayan işleme haznesi titreşiminin önemi açıkça görülmektedir.

### 4.2. Öneriler

İHT-EEİ tekniği, işleme haznesinin ve içerisindeki dielektrik sıvının ağırlığından dolayı düşük frekanslı ve genlikli titreşimler sağlayabilmektedir. Bu da İİH ve EAH açılarından beklenen yüksek orandaki iyileşmelerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

Deneyler neticesinde elde edilen olumlu gelişmeler ışığında işleme haznesine dolayısı ile işparçasına uygulanan titreşimlerin frekans değerlerinin daha yüksek değerlerde ve daha uzun süreli vurumlarda uygulanması EEİ tekniği açısından daha etkili sonuçların elde edileceği düşünülmektedir. Bundan dolayı sarsıcı ünitenin işleme haznesine bağlanması yerine doğrudan işparçasına bağlanması ve böylece daha yüksek frekans değerlerinin uygulanabilmesi EEİ tekniğinde işparçası titreşiminin kullanılması ile performans çıktılarının iyileşmesi açısından son derece önemli katkılar sağlayacaktır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gazi Üniversitesi (BAP 06/2006-1) ve TÜBİTAK (Hızlı Destek 106M336) kurumları tarafından desteklenmiştir. İlgili kurumlara ve yetkililerine teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. McGeough, J.A., 1988, "Advanced Methods of Machining", Chapman and Hall, London New York, 128-147.

2. Springborn, R.K., 1967, "Non-Traditional Machining Processes", American Society of Tool and Manufacturing Engineers, Dearborn Michigan, 105-133.
3. Her, M.-G., Weng, F.-T., 2001, "Micro-hole machining of copper using the electro-discharge machining process with a tungsten carbide electrode compared with a copper electrode", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 17 (10): 715-719.
4. Mohri, N., Saito, N., Suzuki, M., Takawashi, T., 1988, "Surface modification by EDM-an innovation in EDM with semi-conductive electrodes", The American Society of Mechanical Engineers, Research and Technological Developments in Nontraditional Machining, 34: 21-30.
5. Mohri, N., Saito, N., Tsunekawa, Y., 1993, "Metal surface modification by electrical discharge machining with composite electrode", Annals of the CIRP, 42 (1): 219-222.
6. Saito, K., Kishinami, T., Konno, H., Sato, M., 1986, "Development of numerical contouring control electric discharge machining (NCC-EDM)", Annals of the CIRP, 35 (1): 117-120.
7. Chen, S.L., Yan, B.H., Huang, F.Y., 1999, "Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti-6Al-4V", Journal of Materials Processing Technology, 87 (1-3): 107-111.
8. Bayramoğlu, M., 1995, "Dalma elektro erozyon tezgahları ve nümerik kontrol", Makina ve Metal Teknolojisi, 45: 157-160.
9. Masuzawa, T., Heuvelman, C.J., 1983, "A self flushing method with spark erosion machining", Annals of the CIRP, 32 (1): 109-111.
10. Schumacher, B. M., 1990, "About the role of debris in the gap during electrical discharge machining", Annals of the CIRP, 39 (1): 197-199.
11. Özgedik, A., Çoğun, C., 2006, "An experimental investigation of tool wear in electric discharge machining", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27 (5-6): 488-500.
12. Çoğun, C., 1990, "Keeping electric discharge machining under control", Machine Design, 62 (8): 105-108.
13. Keskin, Y., Halkacı, H.S., Kizil, M., 2006, "An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining (EDM)", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28 (11-12): 1118-1121.
14. 1967, "Electrode materials for EDM", The Tool and Manufacturing Engineer, 60-62.
15. Longfellow, J., Wood, J.D., Palme, R.B., 1968, "The effects of electrode material properties on the wear ratio in spark-machining", Journal of the Institute of Metals, 96: 43-48.
16. Singh, S., Maheshwari, S., Pandey, P.C., 2004, "Some investigations into the electric discharge machining of hardened tool steel using different electrode materials", Journal of Materials Processing Technology, 149 (1-3): 272-277.
17. Lim, L.C., Lee, L.C., Wong, Y.S., Lu, H.H., 1991, "Solidification microstructure of electrodischarge machined surfaces of tool steels", Materials Science and Technology, 7 (3): 239-248.

18. Çoğun, C., Erden, A., 1984, "Effect of pause time on properties of pulse trains in electric discharge machining", METU Journal of Pure and Applied Sciences, 17 (3): 191-208.
19. Hocheng, H., Lei, W.T., Hsu, H.S., 1997, "Preliminary study of material removal in electrical-discharge machining of SiC/Al", Journal of Materials Processing Technology, 63 (1-3): 813-818.
20. Wong, Y.S., Lim, L.C., Lee, L.C., 1995, "Effects of flushing on electro-discharge machined surfaces", Journal of Materials Processing Technology, 48 (1-4): 299-305.
21. Lonardo, P.M., Bruzzone, A.A., 1999, "Effect of flushing and electrode material on die sinking EDM", Annals of the CIRP, 48 (1): 123-126.
22. Mohan, B., Rajadurai, A., Satyanarayana, K.G., 2002, "Effect of SiC and rotation of electrode on electric discharge machining of Al-SiC composite", Journal of Materials Processing Technology, 124 (3): 297-304.
23. Yu, Z., Jun, T., Masanori, K., 2004, "Dry electrical discharge machining of cemented carbide", Journal of Materials Processing Technology, 149 (1-3): 353-357.
24. Çoğun, C., Özerkan, B., Karaçay, T., 2006, "An experimental investigation on the effect of powder mixed dielectric on machining performance in electric discharge machining", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 220 (7): 1035-1050.
25. Tzeng, Y.-F., Lee, C.-Y., 2001, "Effects of powder characteristics on electro discharge machining efficiency", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 17 (8): 586-592.
26. Gillot, F., Mognol, P., Furet, B., 2005, "Dimensional accuracy studies of copper shells used for electro-discharge machining electrodes made with rapid prototyping and the electroforming process", Journal of Materials Processing Technology, 159 (1): 33-39.
27. Monzon, M., Benitez, A.N., Marrero, M.D., Hernandez, N., Hernandez, P., Aisa, J., 2008, "Validation of electrical discharge machining electrodes made with rapid tooling technologies", Journal of Materials Processing Technology, 196 (1-3): 109-114.
28. Ishida, T., Takeuchi, Y., 2002, "L-Shaped curved hole creation by means of electrical discharge machining and an electrode curved motion generator", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19 (4): 260-265.
29. Kim, D.J., Yi, S.M., Lee, Y.S., Chu, C.N., 2006, "Straight hole micro EDM with a cylindrical tool using a variable capacitance method accompanied by ultrasonic vibration", Journal of Micromechanics and Microengineering, 16 (5): 1092-1097.
30. Zhixin, J., Jianhua, Z., Xing, A., 1997, "Study on a new kind of combined machining technology of ultrasonic machining and electrical discharge machining", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 37 (2): 193-199.
31. Zhixin, J., Jianhua, Z., Xing, A., 1995, "Ultrasonic vibration pulse electro-discharge machining of holes in engineering ceramics", Journal of Materials Processing Technology, 53 (3-4): 811-816.
32. Zhixin, J., Xing, A., Jianhua, Z., Zhaoliang, A., 1995, "Combined machining of USM and EDM for advanced ceramics", Journal of Advanced Materials, 26 (3): 16-20.

33. Abdullah, A., Shabgard, M.R., 2008, "Effect of ultrasonic vibration of tool on electrical discharge machining of cemented tungsten carbide (WC-Co)", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38 (11-12): 1137-1147.
34. Ghoreishi, M., Atkinson, J., 2002, "A comparative experimental study of machining characteristics in vibratory, rotary and vibro-rotary electro-discharge machining", *Journal of Materials Processing Technology*, 120 (1-3): 374-384.
35. Zhang, Q. H., Zhang, J. H., Deng, J. X., Qin, Y., Niu, Z. W., 2002, "Ultrasonic vibration electrical discharge machining in gas", *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1-3): 135-138.
36. Yeo, S.H., Goh, K.M., 2001, "The effect of ultrasound in micro electro discharge machining on surface roughness", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 215 (2): 271-276.
37. Tong, H., Li, Y., Wang, Y., 2008, "Experimental research on vibration assisted EDM of micro-structures with non-circular cross-section", *Journal of Materials Processing Technology*, 208 (1-3): 289-298.
38. Hao, T., Yang, W., Yong, L., 2008, "Vibration-assisted servo scanning 3D micro EDM", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 18 (2): 1-8.
39. Murthy, V.S.R., Philip, P.K., 1987, "Pulse train analysis in ultrasonic assisted EDM", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 27 (4): 469-477.
40. Sundaram, M.M., Pavalarajan, G.B., Rajurkar, K.P., 2008, "A study on process parameters of ultrasonic assisted micro EDM based on taguchi method", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17 (2): 210-215.
41. Changshui Gao, C., Liu, Z., 2003, "A study of ultrasonically aided micro-electrical-discharge machining by the application of workpiece vibration", *Journal of Materials Processing Technology*, 139 (1-3): 226-228.
42. Huang, H., Zhang, H., Zhou, L., Zheng, H.Y., 2003, "Ultrasonic vibration assisted electro-discharge machining of microholes in Nitinol", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 13 (5): 693-700.